

## Method for measuring and controlling of operating data of internal combustion engines

Patent Number: ☐ US4739731  
Publication date: 1988-04-26  
Inventor(s): HAEBICH ANDREAS (DE); MUTSCHLER BERNHARD (DE)  
Applicant(s):: BOSCH GMBH ROBERT (DE)  
Requested Patent: ☐ DE3428371  
Application US19860852810 19860221  
Priority Number(s): DE19843428371 19840801  
IPC Classification:  
EC Classification: F02D41/14D3H2B, F02D41/14F, F02D41/40B  
Equivalents: ☐ EP0190206 (WO8600961), B1, ☐ WO8600961

---

### Abstract

---

PCT No. PCT/DE85/00250 Sec. 371 Date Feb. 21, 1986 Sec. 102(e) Date Feb. 21, 1986 PCT Filed Jul. 25, 1985 PCT Pub. No. WO86/00961 PCT Pub. Date Feb. 13, 1986. A method of measuring and/or controlling operating data, like soot content, engine speed, initiation of injection, and exhaust gas return of internal combustion engines, the method including the steps of ionizing gases at high temperatures in a combustion chamber of an internal combustion engine that experiences combustion operations, the ionized gases having components with the lowest ionization potentials, applying a current and a voltage to the ionized gases, obtaining electrical measuring signals of the current or voltage indicative of an electrical conductivity of the ionized gases, integrating the electrical measuring signals to define a curve plot of the electrical conductivity, detecting a quantity of components of the ionized gases that have the lowest ionization potentials based on the integrated electrical measuring signals, the detected quantity of components being associated with a portion of the electrical measuring signals and being indicatives of an amount of soot formed during each of the combustion operations, and controlling at least one of the operating data of the internal combustion engine based on the portion of the integrated electrical measuring signals associated with the detected quantity of components.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①1 DE 3428371 A1

①5 Int. Cl. 4:  
F02D 35/02

②1 Aktenzeichen: P 34 28 371.4  
②2 Anmeldetag: 1. 8. 84  
④3 Offenlegungstag: 13. 2. 86

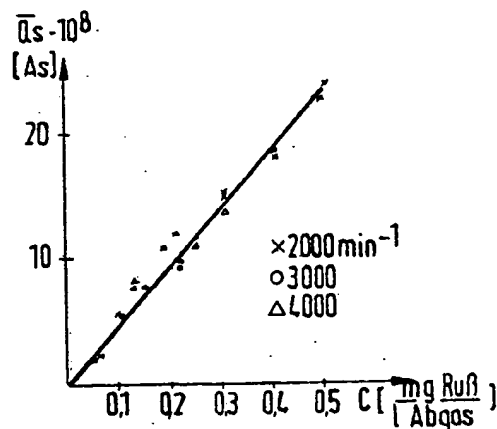
DE 3428371 A1

⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Häbich, Andreas, Dipl.-Chem. Dr.; Mutschler,  
Bernhard, 7016 Gerlingen, DE

⑤4 Verfahren zur Messung und Regelung von Betriebsdaten von Verbrennungsmotoren

Es wird ein Verfahren angegeben, das zur Messung und/oder Regelung von Betriebsdaten wie Rußgehalt, Motordrehzahl, Spritzbeginn und Abgasrückführung von Verbrennungsmotoren dient. Das Verfahren nutzt die Ionisierung von Gasen bei hohen Temperaturen aus, indem es durch die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des im Brennraum des Verbrennungsmotors vorhandenen ionisierten Gases die Komponente mit dem niedrigsten Ionisierungspotential erfaßt und die so erhaltenen elektrischen Meßsignale auf die entsprechenden Betriebsdaten hin auswertet. Das bezieht sich vorzugsweise auf einen Dieselmotor, bei dem der Ruß die Komponente mit dem niedrigsten Ionisierungspotential darstellt. Ein entsprechender Sensor besteht aus einer an sich bekannten keramischen Glühstiftkerze, die auf ihrer in den Brennraum hineinragenden Kuppe eine elektrisch leitfähige Schicht trägt und als eine Elektrode dient, während die Brennraumwandung die zweite Elektrode darstellt. Der Rußgehalt ist nach Integration der Signale und Eichung des Verfahrens unmittelbar meßbar, während aus dem zeitlichen Abstand der Meßsignale die Drehzahl folgt. Auch kann das Verfahren zur Spritzverstellung sowie zur Regelung der Abgasrückführung benutzt werden.



DE 3428371 A1

R.

19527

17.7.1984 Pf/Jä

ROBERT BOSCH GMBH, 7000 Stuttgart 1

## Ansprüche

① Verfahren zur Messung und/oder Regelung von Betriebsdaten wie Rußgehalt, Motordrehzahl, Spritzbeginn, Abgasrückführung von Verbrennungsmotoren unter Ausnutzung der Ionisierung von Gasen bei hohen Temperaturen, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des im Brennraum des Verbrennungsmotors vorhandenen ionisierten Gases die Komponente mit dem niedrigsten Ionisierungspotential erfaßt und die so erhaltenen elektrischen Meßsignale auf die entsprechenden Betriebsdaten hin ausgewertet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Dieselmotor durch die Messung der im wesentlichen durch den Ruß verursachten elektrischen Leitfähigkeit des ionisierten Gases die bei jedem Brennvorgang gebildete Rußmenge durch Integration des Strom- bzw. Spannungsverlaufes erfaßt und die so erhaltenen elektrischen Meßsignale auf die entsprechenden Betriebsdaten hin ausgewertet werden.

3. Sensor zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß er aus einer modifizierten Glühstiftkerze (5) besteht, die auf ihrer in den Brennraum hineinragenden Kuppe eine elektrisch leitfähige Schicht (6) trägt, an die sich eine elektrische Leiterbahn (7) anschließt, die in einem Außenanschluß zur elektrischen Kontaktierung endet.

3428371  
19527

- 2 -

4. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 2 zur Erfassung des Rußgehaltes in der Vor- bzw. Brennkammer, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Meßsignals zwischen zwei Elektroden als Maß für den Rußgehalt ausgewertet wird.

5. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 zur berührungslosen Drehzahlmessung von Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erfassung der Drehzahl der zeitliche Abstand der Meßsignale ausgewertet wird.

6. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 zur Regelung des Spritzbeginns, indem dieser je nach Betriebsbedingungen des Motors oder den Erfordernissen (Geräusche, Schadstoffemission) nach der Lage des Verbrennungsschwerpunktes in ° KW geregelt wird.

7. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 2 zur Regelung der Abgasrückführung, dadurch gekennzeichnet, daß solange Abgas der Ansaugleitung zugeführt wird, bis das Meßsignal eine stärkere Rußbildung anzeigt.

R. 19527

17.7.1984 Pf/Jä

ROBERT BOSCH GMBH, 7000 Stuttgart 1

Verfahren zur Messung und Regelung von Betriebsdaten von  
Verbrennungsmotoren

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs. Es sind bereits Ionenstromsonden bekannt, die zum Beispiel zur Feststellung und Regelung des Zündzeitpunktes bei Otto-Motoren (DE-OS 29 35 725) oder zur Erfassung von Druckschwankungen zur Erkennung klopfender Verbrennungen (DE-OS 28 02 802) dienen. Diese Sonden arbeiten mit hohen Feldstärken von über 1000 V/cm und sind auch aufgrund ihrer sonstigen Merkmale nicht zur Schadstoffbestimmung im Brenngas geeignet.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil einer schnellen und spezifischen Erfassung einer wichtigen Schadstoffkomponente des Verbrennungsmotors. Es arbeitet bei Feldstärken von unter 300 V/cm, und aufgrund der hohen Empfindlichkeit und Ansprechgeschwindigkeit ist das Verfahren in der Lage, einzelne Brennvorgänge aufzulösen und damit Auskunft zu geben über Brennbeginn und

Brenndauer sowie Brennaussetzer. Der für die Durchführung des Verfahrens erforderliche Sensor ist eine modifizierte Glühstiftkerze, die in kleineren Dieselmotoren ohnehin vorhanden ist. Bei direkt-einspritzenden Dieselmotoren, die keine solche Starthilfe besitzen, ist es jedoch möglich, die Spritzdüse so zu modifizieren, daß damit auch Sondenfunktionen wahrgenommen werden können, so daß zusätzliche Bohrungen für spezielle Sonden nicht notwendig sind.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. Besonders vorteilhaft ist die Erfassung des in einem Dieselmotor vorhandenen Rußes, die Möglichkeit der berührungslosen Drehzahlmessung von Verbrennungsmotoren, die Möglichkeit der Regelung des Spritzbeginns in Dieselmotoren sowie auch die Möglichkeit der Regelung der Abgasrückführung (ARF).

Durch die hohe Temperatur, wie sie bei den Verbrennungsvorgängen in Verbrennungsmotoren herrschen, werden ebenso wie durch energiereiche Strahlung Gasionen gebildet, die hochoberhitzten Gasen eine elektrische Leitfähigkeit verleihen, die der Ladungsträgerdichte direkt proportional ist. Welche Art Ladungsträger dabei entstehen, hängt entscheidend von der Temperatur und von den Ionisierungspotentialen der vorhandenen Moleküle ab. Bei entsprechender Lage von Temperatur und Ionisierungspotentialen ist es grundsätzlich möglich, bestimmte Gasbestandteile über die Leitfähigkeit des ionisierten Gases nachzuweisen. Voraussetzung dafür ist, daß vornehmlich ein Bestandteil des Gemisches in ionisierter Form vorliegt und zur elektrischen Leitfähigkeit des Plasmas beiträgt. Die Leitfähigkeit muß danach in eindeutiger Weise von der Konzentration der betreffenden Gasionen bzw. -moleküle abhängen und nach Eichung quantitative Aussagen darüber gestatten.

Im Falle der thermischen Ionisation ist der Ionisationsgrad der Komponenten in Abhängigkeit von Temperatur, Teilchendichte und Ionisierungsenergie berechenbar. Danach werden insbesondere für den Ruß aufgrund seiner relativ niedrigen Ionisierungsenergie hohe Ionisierungsgrade unter Bedingungen, wie sie in einem Dieselmotor herrschen, erhalten, so daß über die Leitfähigkeit des Brenngases eine Erfassung des Rußes möglich ist. Das folgt einerseits aus den Ionisierungspotentialen der wichtigsten Brenngasbestandteile des Dieselmotors, wie sie in der Tabelle "Ionisierungspotentiale anorganischer und organischer Moleküle" unter "Anorganische Moleküle" angeführt sind. Andererseits läßt sich aus der Tatsache, daß bei aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen die Ionisierungsenergie mit zunehmender Molekülgröße abnimmt, wie in der Tabelle unter "Organische Moleküle" ablesbar ist, und man sich Ruß im Prinzip als ein fortgeschrittenes Glied einer aromatischen Kondensationsreihe vorstellen kann, wofür auch der Gehalt an Wasserstoff spricht, eine Ionisierungsenergie abschätzen, die um 2 bis 3 eV unter der des Anthrazens von 7,23 eV liegen sollte, obwohl genauere Werte, wohl wegen der Unterschiede im Kondensationsgrad und in der genauen Zusammensetzung des Rußes, nicht bekannt sind. Es läßt sich jedoch zeigen, daß selbst mit dem höheren Schätzwert der Ionisierungsenergie von 5 eV und unter Berücksichtigung der Konzentrationsverhältnisse sich noch ein für die Rußerfassung ausreichender Potentialabstand zu der nächsten leicht ionisierenden Komponente NO ergibt.

Auch bei günstiger Lage der Ionisierungsenergien ist ein quantitativer Komponenten-Nachweis aber nur möglich, wenn eine geeignete Meßspannung verwendet wird, das heißt, daß die Spannung im Sättigungsstromgebiet für die unselbständige Gasentladung liegen muß, um eine spannungsbedingte Ionisation mit lawinenartiger Vermehrung der Ladungsträger zu ver-

TabelleIonisierungspotentiale anorganischer und organischer  
Moleküle

Anorganische Moleküle		eV
$H_2$	$H_2^+ + e$	15,4
$O_2$	Sauerstoff	12,2
$N_2$	Stickstoff	16,8
$H_2O$	Wasser	12,59
CO	Kohlenmonoxid	14,30
$CO_2$	Kohlendioxid	13,79
NO	Stickstoffmonoxid	9,5
$NO_2$	Stickstoffdioxid	11,0

## Organische Moleküle

## Paraffine

$CH_4$	Methan	12,98
$C_2H_6$	Äthan	11,65
$C_4H_{10}$	Butan	10,63
$C_{10}H_{22}$	Decan	10,19

## Aromaten

$C_6H_6$	Benzol	9,25
$C_{10}H_8$	Naphthalin	8,12
$C_{14}H_{10}$	Anthracen	7,23



meiden, die zur Folge hätte, daß die elektrische Leitfähigkeit des Plasmas nicht mehr allein von der thermischen Ionisation einer Komponente abhängt. Ionenstrommessungen sind zwar auch dann noch möglich, sie gestatten aber nur die bislang üblichen qualitativen Aussagen über den Brennablauf, wie die Feststellung des Zündzeitpunktes, ob Brennaussetzer auftreten oder eine klopfende Verbrennung vorliegt.

Ein Problem stellen bei allen Messungen im Motor die erheblichen Temperatur- und Konzentrationsunterschiede dar, die in räumlicher und zeitlicher Hinsicht so ausgemittelt werden müssen, daß für den jeweiligen Arbeitsvorgang repräsentative Mittelwerte erhalten werden. Das geschieht durch Verwendung eines großen Meßvolumens und durch Integration der Strom- bzw. Spannungsverläufe. Dabei läßt sich die Meßempfindlichkeit verbessern, wenn den stark unterschiedlichen Driftgeschwindigkeiten von positiven Gasionen, Gegenionen und Elektronen dadurch Rechnung getragen wird, daß zur Entladung der langsamen positiven Gasionen eine größere negative Elektrode eingesetzt wird.

#### Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Figur 1 den Schnitt durch eine Wirbelkammer eines Dieselmotors und Figur 2 eine graphische Darstellung, in der die mittlere Strommenge pro Einzelsignal (Brennvorgang) gegen die Rußkonzentration bei verschiedenen Drehzahlen aufgetragen ist. Figur 3 schließlich zeigt als Beispiel eine oszillographische Aufnahme der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel bei einem Dieselmotor bei Vollast, einer Drehzahl von 2000 Upm und einem Rußgehalt von 0,31 mg/l.

### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Figur 1 ist im Schnitt die Wirbelkammer 1 eines Dieselmotors mit der Einspritzdüse 2, dem Schußkanal zur Hauptverbrennungskammer 3 sowie die Hauptverbrennungskammer 4 dargestellt. In die Wirbelkammer 1 ragt z. B. eine keramische Glühstiftkerze 5 hinein, die an ihrer Kuppe eine elektrisch leitfähige Schicht 6 aus Platin trägt, an die sich eine elektrische Leiterbahn 7 zur Kontaktierung der leitfähigen Schicht 6 anschließt. Zwischen der elektrisch leitfähigen Kuppe 6 und der Wandung der Wirbelkammer 1 liegt eine Gleichspannung von 250 V an. In dem Stromkreis zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit liegt ein Meßwiderstand von  $10\text{ k}\Omega$ , so daß das Signal für die elektrische Leitfähigkeit als Spannungsabfall an diesem Meßwiderstand erhalten und ausgewertet wird. Eine zusätzliche Verstärkerschaltung ermöglicht eine Integration der Signale, so daß gleichzeitig damit die Strommenge in Abhängigkeit von der Zeit bzw. von der Signalzahl registriert werden konnte. Erfolgt die Auswertung oszillographisch (Fig. 3), so ist eine eindeutige Korrelation zwischen den elektrischen Signalen und den Rußgehalten des Abgases erkennbar und es zeigt sich, daß diese Meßvorrichtung sehr schnell und trägheitslos auf die mit Rußentwicklung verbundenen Vorgänge im Brennraum anspricht. Wie aus Figur 2 hervorgeht, wird die Beziehung auch in quantitativer Hinsicht gut erfüllt, wenn nach elektronischer Integration der Signale die mittlere Strommenge pro Einzelsignal gegen die Rußkonzentration aufgetragen wird. Man sieht, daß die Werte für 2000, 3000 und 4000 Umdrehungen pro Minute kaum voneinander abweichen.

Wie die oszillographischen Aufnahmen zeigen (Fig. 3), ist das Verfahren aufgrund seiner trägheitslosen Arbeitsweise und hohen Empfindlichkeit imstande, einzelne Brennvorgänge aufzulösen und damit anhand der Rußentwicklung im Brennraum Auskunft zu geben über den Brennablauf. Daraus folgt u. a.

die Möglichkeit, den Verbrennungsschwerpunkt als den Zeitpunkt maximaler Rußentwicklung, der mit der maximalen Lichtemission übereinstimmt, festzustellen und mit Hilfe einer Spritzbeginn-Regelung (Spritzversteller) auf bestimmte Zeitpunkte bzw. ° KW (Kurbelwinkel) zu legen, z. B. 10° KW nach oberem Zündtotpunkt (oT) als einer optimalen Einstellung. Der Verbrennungsschwerpunkt kann aber auch je nach Umständen oder Erfordernissen so verändert werden, daß dadurch das Motorverhalten in bestimmten Betriebszuständen, wie z. B. Warmlauf, Hochlauf oder Schiebebetrieb, verbessert wird, gewisse Emissionen, wie Geräusch, Schadstoffe (HC, NO<sub>x</sub>, Ruß) gezielt verringert oder der spezifische Kraftstoffverbrauch minimiert wird. Zweckmäßigerweise wird für die Regelaufgaben ein aus allen Zylindern gemitteltes Signal verwendet, um die motorbedingten Brennunregelmäßigkeiten auszugleichen.

Ein weiterer verfahrensmäßiger Vorteil ist, daß aus den leicht zu verarbeitenden elektrischen Signalen die Drehzahl des Motors ermittelt werden kann und alle genannten Meßfunktionen bei Verwendung modifizierter Glühstiftkerzen ohne großen Mehraufwand mit der Startfunktion kombinierbar sind.

Schließlich läßt sich mit dem angegebenen Verfahren auch die Abgasrückführung regeln, die als wirksame Maßnahme zur Begrenzung der NO<sub>x</sub>-Emission gilt und für die heute ein Luftmengenmesser benötigt wird. Viel vorteilhafter als diese indirekte Methode, bei der aus der angesaugten Luftmenge auf die für die ARF-Rate maßgebende CO- bzw. Rußkonzentration geschlossen wird, wäre die direkte Messung einer der beiden Komponenten. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren steht jetzt ein direktes und kontinuierliches Meßverfahren zur Verfügung, mit dem Ruß schnell und empfindlich bereits im Motor nachgewiesen werden kann und

3428371

19527

10

- 7 -

das damit für eine Regelung der ARF-Rate geeignet ist.  
Im Vergleich zur Luftmengenmessung hat das erfindungs-  
gemäße Verfahren den Vorteil, daß es sich unmittelbar  
an einer Schadstoffkomponente orientiert.

Aufgrund der multifunktionellen Eigenschaften des ver-  
wendeten Sensors sind alle Voraussetzungen für eine um-  
fassende Optimierung des Dieselmotors hinsichtlich Schad-  
stoffausstoß, Geräuscentwicklung und spezifischem Kraft-  
stoffverbrauch erfüllt.

